

Attorney Docket No. 392.1872

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Toshiaki OTSUKI, et al.

Application No.:

Group Art Unit:

Filed: February 12, 2004

Examiner:

For: **NUMERICAL CONTROL DEVICE, AND NUMERICAL CONTROL METHOD**

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2003-041249

Filed: February 19, 2003

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: February 12, 2004

By: _____

H. J. Staas
Registration No. 22,010

1201 New York Ave, N.W., Suite 700
Washington, D.C. 20005
Telephone: (202) 434-1500
Facsimile: (202) 434-1501



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月19日
Date of Application:

出願番号 特願2003-041249
Application Number:

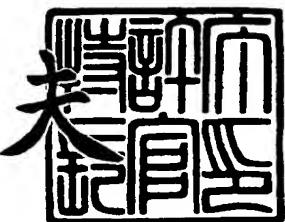
[ST. 10/C] : [JP2003-041249]

出願人 ファナック株式会社
Applicant(s):

2004年 1月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康



【書類名】 特許願
【整理番号】 21636P
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 B23Q 15/00
【発明者】
【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3580番地 ファ
ナック株式会社 内
【氏名】 大槻 俊明
【発明者】
【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3580番地 ファ
ナック株式会社 内
【氏名】 荻野 秀雄
【発明者】
【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3580番地 ファ
ナック株式会社 内
【氏名】 佐々木 孝文
【特許出願人】
【識別番号】 390008235
【氏名又は名称】 フアナック株式会社
【代理人】
【識別番号】 100082304
【弁理士】
【氏名又は名称】 竹本 松司
【電話番号】 03-3502-2578
【選任した代理人】
【識別番号】 100088351
【弁理士】
【氏名又は名称】 杉山 秀雄

【選任した代理人】**【識別番号】** 100093425**【弁理士】****【氏名又は名称】** 湯田 浩一**【選任した代理人】****【識別番号】** 100102495**【弁理士】****【氏名又は名称】** 魚住 高博**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 015473**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9306857**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 誤差補正方法及び数値制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 直線移動軸と工具ヘッドあるいはテーブルに少なくとも 1 つの回転軸を有する機械を制御する数値制御装置において、

前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量、及び／又は主軸旋回中心の機械誤差のない基準位置及び前記主軸旋回中心の基準位置と実際の主軸旋回中心のずれ量から、前記機械誤差がない場合の工具と加工物との相対関係が保持されるように実際に機械が移動すべき機械位置を求める手段と、

該手段で求められた機械位置へ前記直線移動軸及び前記回転軸を駆動する駆動制御手段を備えることを特徴とする数値制御装置。

【請求項 2】 前記機械は工具ヘッドが少なくとも 1 つの軸周りに回転する機械である請求項 1 に記載の数値制御装置。

【請求項 3】 前記機械はテーブルが少なくとも 1 つの軸周りに回転する機械である請求項 1 に記載の数値制御装置。

【請求項 4】 前記機械は工具ヘッド及びテーブルが回転する機械である請求項 1 に記載の数値制御装置。

【請求項 5】 前記ずれ量は数値制御装置内のパラメータに設定されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の内いずれか 1 項に記載の数値制御装置。

【請求項 6】 前記ずれ量は、前記機械から数値制御装置への信号によって数値制御装置に通知されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の内いずれか 1 項に記載の数値制御装置。

【請求項 7】 前記ずれ量は、外部機器から数値制御装置への信号によって数値制御装置に通知されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の内いずれか 1 項に記載の数値制御装置。

【請求項 8】 直線移動軸と工具ヘッドあるいはテーブルに少なくとも 1 つの回転軸を有する機械の数値制御装置による数値制御方法であって、前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量、

及び／又は主軸旋回中心の機械誤差のない基準位置及び前記主軸旋回中心の基準位置と実際の主軸旋回中心のずれ量から、前記機械誤差がない場合の工具と加工物との相対関係が保持されるように実際に機械が移動すべき機械位置を求め、該求められた機械位置へ前記直線移動軸及び前記回転軸を移動させることを特徴とする数値制御方法。

【請求項 9】 前記機械は工具ヘッドが少なくとも 1 つの軸周りに回転する機械であって、

前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量、及び／又は主軸旋回中心の機械誤差のない基準位置及び前記主軸旋回中心の基準位置と実際の主軸旋回中心のずれ量と前記回転軸への指令より、工具長ベクトルを補正し、

補正された工具長ベクトルに指令位置ベクトルを加算し機械位置を求める請求項 8 に記載の数値制御方法。

【請求項 10】 前記機械はテーブルが少なくとも 1 つの軸周りに回転する機械であって、

テーブル座標系上における指令位置に該テーブル座標系原点のオフセットを加算して機械座標系上の指令位置を求め、

前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量と前記回転軸への指令位置から、機械座標系上の指令位置をずれ補正し、かつ指令された回転軸の回転位置へ回転した位置を求め、該位置に工具長ベクトルを加算して機械位置を求める請求項 8 に記載の数値制御方法。

【請求項 11】 前記機械は工具ヘッド及びテーブルが回転する機械であって、

テーブル座標系上の位置指令値にテーブル座標系原点オフセット量を加算して機械座標系上の指令位置を求め、

テーブルに設けられた回転軸の機械誤差がない基準位置と実際の回転軸のずれ量と該テーブルに設けられた回転軸への指令位置からずれを補正した指令位置を求め、

工具長ベクトルに工具ヘッドに設けられた回転軸の機械誤差がない基準位置と実

際の回転軸のずれ量と該工具ヘッドに設けられた回転軸の指令位置からずれを補正した工具の姿勢を求め、

前記ずれを補正した指令位置とずれを補正した工具の姿勢より機械位置を求める請求項8に記載の数値制御方法。

【請求項12】 前記ずれ量は、数値制御装置にパラメータ設定により、前記機械の信号により、又は、外部機器の信号のいずれかにより数値制御装置に通知されることを特徴とする請求項8乃至11の内いずれか1項に記載の数値制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、直線移動軸以外に回転軸を有する機械を制御する数値制御装置及びその制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

金型等の自由曲面を加工する工作機械として、直線移動軸以外に回転軸を有する機械が使用されている。X, Y, Zの直線移動軸と、2つの回転軸を備えた5軸工作機械が知られている。回転軸を備えていることから、これらの回転軸の回転に伴って、工具を被加工物のワーク加工面に対して任意に傾けて加工することができる。工具が傾くことによって工具長補正量が変化することから、この工具長を補正しながら加工するようにされている（例えば、特許文献1、特許文献2参照）。

【0003】

又、X, Y, Zの直線移動軸と鉛直軸線周りの回転軸のC軸、該C軸に対して所定角度傾斜したB'軸周りに回転する部材を備えた5軸工作機械において、C軸の鉛直線軸からの傾き誤差、B'軸の傾斜角度誤差、及びB', C軸の回転中心位置の誤差を補正するために、B'軸を所定角度に固定し、C軸周りに回転させ所定旋回角度毎の主軸先端位置を測定し、この測定データから回帰方程式より重回帰分析して旋回平面を求めて、C軸部材の軸方向ベクトルを求め、C軸を所

定角度に固定し、B軸周りに回転させ所定旋回角度毎の主軸先端位置を測定し、この測定データから回帰方程式より重回帰分析して旋回平面を求めてB軸部材の軸方向ベクトルを求め、これら軸方向ベクトルの軸線周りに旋回した状態での主軸先端位置を求め、この主軸先端位置と誤差のない場合の主軸位置との差分を主軸頭位置誤差とし、主軸頭位置誤差の符号を反転させて補正值とし、NCプログラムの座標系をオフセットして主軸頭誤差補正を行うようにしたもののが知られている（特許文献3参照）。

【0004】

【特許文献1】

特開平3-109606号公報

【特許文献2】

特開平5-100723公報

【特許文献3】

特開2001-269839号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

前述した特許文献1、2の工具長補正方法では、回転軸中心のずれや傾斜は考慮されていない。回転軸中心が本来の位置から乖離または傾斜している場合（加工プログラムを実行する制御系が認識している回転中心軸及びその方向と実際に回転中心軸及びその方向に誤差がある場合）は考慮されていない。また、主軸旋回中心が本来の位置から乖離または傾斜している場合においても、考慮されていない。

【0006】

しかし、工作機械の製造上、回転軸中心を本来の位置、方向に、また主軸旋回中心を本来の位置、方向に正確に製造することは困難で誤差が発生する。前述した特許文献3では、回転軸の中心位置誤差、傾きの誤差を考慮し、主軸頭位置誤差補正を行っているが、この方法は、2つある一方の回転軸を固定し、他方を所定角度回転させた位置毎に主軸先端位置を測定して得られたデータに基づいて回帰方程式より重回帰分析して旋回平面を求めて軸方向ベクトルを求め、さらに、

これらの軸方向ベクトルを旋回させた状態での主軸先端位置を求め、本来の主軸位置との差を主軸頭位置誤差として、NC座標系をこの主軸頭位置誤差に対応してオフセットするものであり、処理が複雑である。

さらに、特許文献3に記載された方法では、次のような問題点がある。

2つの回転軸の位置決めごとに、それらの回転軸を所定角度ずつ旋回させて測定し、それらの回転軸の実際の方向ベクトルを求めている。従って、回転軸の位置決めごとに測定のための時間がかかるという問題と、回転軸の移動を含めた連続加工には使用できないという問題がある。又、2つある回転軸の回転中心はお互いに交叉していることを前提としており、2つの回転中心の間に乖離がある場合を考慮していない。さらに、主軸回転中心と回転軸の間の誤差を考慮していないという問題がある。

【0007】

そこで、本発明の目的は、回転軸を含む機械を制御する数値制御装置において、回転軸中心が本来の位置から乖離または傾斜している場合や、主軸旋回中心が本来の位置から乖離または傾斜している場合においても、簡単で精度の高い加工、かつ回転軸の移動を含めた連続加工ができる数値制御装置及び制御方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

請求項1に係わる発明は、直線移動軸と工具ヘッドあるいはテーブルに少なくとも1つの回転軸を有する機械を制御する数値制御装置において、前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量、及び／又は主軸旋回中心の機械誤差のない基準位置及び前記主軸旋回中心の基準位置と実際の主軸旋回中心のずれ量から、前記機械誤差がない場合の工具と加工物との相対関係が保持されるように実際に機械が移動すべき機械位置を求める手段と、

該手段で求められた機械位置へ前記直線移動軸及び前記回転軸を駆動する駆動制御手段を設けることにより、ずれ補正を可能とした。そして、請求項2に係わる発明は、前記機械を工具ヘッドが少なくとも1つの軸周りに回転する機械とした。又、請求項3に係わる発明は、前記機械をテーブルが少なくとも1つの軸周

りに回転する機械とした。さらに、請求項4に係わる発明は、前記機械を工具ヘッド及びテーブルが回転する機械とした。

【0009】

又、請求項5に係わる発明は、前記ずれ量を数値制御装置内のパラメータに設定するようにし、請求項6に係わる発明は、機械から数値制御装置への信号によってずれ量が数値制御装置に通知されるものとし、請求項7に係わる発明は、外部機器から数値制御装置への信号によって数値制御装置にずれ量が通知されるものとした。

【0010】

請求項8に係わる発明は、直線移動軸と工具ヘッドあるいはテーブルに少なくとも1つの回転軸を有する機械の数値制御装置による数値制御方法であって、前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量、及び／又は主軸旋回中心の機械誤差のない基準位置及び前記主軸旋回中心の基準位置と実際の主軸旋回中心のずれ量から、前記機械誤差がない場合の工具と加工物との相対関係が保持されるように実際に機械が移動すべき機械位置を求め、該求められた機械位置へ前記直線移動軸及び前記回転軸を移動させるようにした数値制御である。

【0011】

また、請求項9に係わる発明は、前記機械が工具ヘッドが少なくとも1つの軸周りに回転する機械であって、前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量、及び／又は主軸旋回中心の機械誤差のない基準位置及び前記主軸旋回中心の基準位置と実際の主軸旋回中心のずれ量と前記回転軸への指令より、工具長ベクトルを補正し、補正された工具長ベクトルに指令位置ベクトルを加算し機械位置を求める数値制御方法とした。

【0012】

請求項10に係わる発明は、前記機械がテーブルが少なくとも1つの軸周りに回転する機械であって、テーブル座標系上における指令位置に該テーブル座標系原点のオフセットを加算して機械座標系上の指令位置を求め、前記回転軸の機械誤差がない基準位置及び該基準位置と実際の回転軸のずれ量と前記回転軸への指

令位置から、機械座標系上の指令位置をずれ補正し、かつ指令された回転軸の回転位置へ回転した位置を求め、該位置に工具長ベクトルを加算して機械位置を求める数値制御方法とした。

【0013】

請求項11に係わる発明は、前記機械は工具ヘッド及びテーブルが回転する機械であって、テーブル座標系上の位置指令値にテーブル座標系原点オフセット量を加算して機械座標系上の指令位置を求め、テーブルに設けられた回転軸の機械誤差がない基準位置と実際の回転軸のずれ量と該テーブルに設けられた回転軸への指令位置からずれを補正した指令位置を求め、工具長ベクトルに工具ヘッドに設けられた回転軸の機械誤差がない基準位置と実際の回転軸のずれ量と該工具ヘッドに設けられた回転軸の指令位置からずれを補正した工具の姿勢を求め、前記ずれを補正した指令位置とずれを補正した工具の姿勢より機械位置を求める数値制御方法とした。さらに、請求項12に係わる発明は、前記ずれ量を、数値制御装置にパラメータ設定により、前記機械の信号により、又は、外部機器の信号のいずれかにより数値制御装置に通知することにより、設定するようにした数値制御方法である。

【0014】

【発明の実施の形態】

回転軸を有する機械（工作機械）には、複数のタイプ（構成の差異）がある。各タイプの機械に対する本発明の適用の実施形態を、工具ヘッド回転形の機械、テーブル回転形の機械、工具ヘッド及びテーブル回転形の機械の、3つのタイプの機械に適用するものとし、以下この3つの実施形態の本発明の原理について説明する。

1. 本発明の第1の実施形態（工具ヘッド回転形の機械）

本発明の第1の実施形態として、工具ヘッド回転式の機械であって、直交するX, Y, Z軸の直線移動軸と、工具ヘッドに回転軸としてA軸（X軸周り）とC軸（Z軸周り）を備え、C軸がマスタ軸となり、C軸上でA軸が動作し、かつ、A軸、C軸の回転角が「0」のとき、工具方向はZ軸方向である工具ヘッド回転形の機械について説明する。

【0015】

なお、A軸、C軸の回転角が「0」のときの工具長ベクトル $V_{t-H}(0, 0, h, 1)^T$ 、ワーク原点オフセット量 $WO_{-H}(W0x_{-H}, W0y_{-H}, W0z_{-H}, 1)^T$ は初期条件として与えられているものとする。また、以降、同次座標系で表し「 T 」は転置を意味する。

(1-1) ずれのない場合の機械位置の求め方

まず、回転軸中心や主軸旋回中心が位置ずれや傾きがなく本来の位置から乖離または傾斜がなく、ずれがない場合、すなわち、加工プログラム及び制御系が認識している回転軸中心や主軸旋回中心の位置及び方向と実際の位置と方向が一致している場合について説明する。

【0016】

図1は、このずれのない場合での機械位置の算出を説明する説明図である。符号1は工具ヘッドで、符号2は工具である。

X, Y, Z軸の直線移動軸に対しては位置指令値 $P(x, y, z)$ 及び回転軸のA軸、C軸に対しては位置指令 $R(a, c)$ が与えられたとき、機械位置 $V_{m-H}(X, Y, Z, 1)^T$ は、次の1式によって求められる。

$$V_{m-H} = M_{wo-H} * M_{p-H} * M_{c-H} * M_{a-H} * V_{t-H} \quad \dots \dots (1)$$

この1式において、 M_{wo-H} , M_{p-H} , M_{c-H} , M_{a-H} は変換マトリックスで、次の通りである。

【0017】

【数1】

$$M_{wo-H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & W0x_{-H} \\ 0 & 1 & 0 & W0y_{-H} \\ 0 & 0 & 1 & W0z_{-H} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{p-H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{a-H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(a) & -\sin(a) & 0 \\ 0 & \sin(a) & \cos(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{c-H} = \begin{bmatrix} \cos(c) & -\sin(c) & 0 & 0 \\ \sin(c) & \cos(c) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0018】

すなわち、マトリックス M_{wo-H} は初期条件として与えられているワーク原点オフセット量 $WO_H(W_{0x-H}, W_{0y-H}, W_{0z-H}, 1)^T$ によって決まるものであり、マトリックス M_{p-H} は、位置指令値 $P(x, y, z)$ によって求められる。マトリックス M_{c-H} は、回転軸 C 軸への指令 c によってもとめられ、マトリックス M_{a-H} は回転軸 A 軸への指令 a によって求められるものである。

【0019】

図 1 に示すように、機械原点に設定されているワーク原点オフセット量 WO_H のベクトルを加算してワーク座標系原点位置を求め、さらに、該ワーク座標系原点位置からプログラム指令値 $P(x, y, z)$ に対応するベクトルを加算し、さらに、A 軸、C 軸の回転量が「0」のときの工具長ベクトル $Vt_H(0, 0, h, 1)^T$ を A 軸、C 軸を回転指令 a, c だけ回転させて得られた工具長ベクトルを加算することによって、機械位置 $Vm_H(X, Y, Z, 1)^T$ が求まる。

(1-2) ずれ（回転中心軸、主軸旋回中心の位置の乖離、及び傾斜）の要素について

この第 1 の実施形態において発生するずれは、(i) C 軸回転中心のずれ、(ii) A 軸回転中心のずれ、(iii) 主軸旋回中心のずれである。これらずれを表すにあたって、関連する事項を次の記号で表す。また図 2 は、このずれを有する機械の位置の算出を説明する説明図である。

【0020】

As_H : A = 0, C = 0 の時の実際の主軸旋回中心

Cs_H : A = 0, C = 0 の時の本来の主軸旋回中心（基準位置）

Ac_H : 実際の C 軸回転中心

Cc_H : 本来の C 軸回転中心（基準位置）

Aa_H : 実際の A 軸回転中心

Ca_H : 本来の A 回転中心（基準位置）

また、本来の C 軸回転中心（基準位置） Cc_H の軸と A 軸回転中心（基準位置） Ca_H の軸は直交するものとしている。

(i) 実際の C 軸回転中心 Ac_H の本来の C 軸回転中心（基準位置） Cc_H に対するずれ（C 軸のずれ）。

【0021】

このずれを、実際のA軸回転中心Aa_Hから実際のC軸回転中心Ac_Hへの乖離距離のX, Y, Z軸各成分dac_H (dadx_H, dacy_H, dac_{ZH})と、C軸回転中心のこれらX, Y, Z軸の軸周りの回転ずれ (ac_H, bc_H, gc_H)で表す。

【0022】

dac_H (dadx_H, dacy_H, dac_{ZH}) :

実際のA軸回転中心Aa_Hから実際のC軸回転中心Ac_Hへの乖離距離のX, Y, Z各成分は、実際のA軸回転中心から実際のC軸回転中心へのベクトルであり、これは、本来のC軸回転中心Cc_Hと本来のA軸回転中心Ca_Hの交点から実際のC軸回転中心Ac_Hへのベクトルをdc_H (dcx_H, dc_{yH}, dc_{ZH})とすると、dac_H=da_H+dc_Hである。（なお、da_Hは後述する。）

【0023】

(ac_H, bc_H, gc_H) :

実際のC軸回転中心Ac_Hが本来のC軸回転中心Cc_Hから、X軸周りにac_H、Y軸周りにbc_H、Z軸周りにgc_H回転して傾斜したずれを表す。

(ii) 実際のA軸回転中心Aa_Hの本来のA軸回転中心（基準位置）Ca_Hに対するずれ（A軸のずれ）。

【0024】

このずれを、X, Y, Z軸の直線軸方向のずれda_H (dax_H, day_H, daz_H)と、A軸回転中心のこれらの軸周りの回転ずれ (ac_H, bc_H, gc_H)で表す。

da_H (dax_H, day_H, daz_H) :

本来のA軸回転中心Ca_Hから実際のA軸回転中心Aa_Hへの乖離距離のX, Y, Z各成分（本来のC軸回転中心Cc_Hと本来のA軸回転中心Ca_Hの交点から実際のA軸回転中心へのベクトル）。

【0025】

(aa_H, ba_H, ga_H) :

実際のA軸回転中心Aa_Hが本来のA軸回転中心Ca_Hから、X軸周りにaa_H、Y軸周りにba_H、Z軸周りにga_H回転して傾斜した誤差を表す。

(iii) 実際の主軸旋回中心As_Hの本来の主軸旋回中心（基準位置）Cs_Hに対

するずれ（主軸のずれ）。

このずれを、X, Y, Z 軸の直線軸方向のずれ ds_{-H} (dsx_{-H} , dsy_{-H} , dsz_{-H}) と、主軸旋回中心のこれらの軸周りの回転ずれ ϵs_{-H} (as_{-H} , bs_{-H} , gs_{-H}) で表す。

【0026】

ds_{-H} (dsx_{-H} , dsy_{-H} , dsz_{-H}) :

実際の主軸旋回中心 As_{-H} から本来の主軸旋回中心 Cs_{-H} への乖離距離の X, Y, Z 各成分 (A, C = 0 の時の工具先端から実際の主軸旋回中心 As_{-H} 上を工具長分 (h) 延ばした位置から本来の C 軸回転中心 Cc_{-H} と本来の A 軸回転中心 Ca_{-H} との交点へのベクトル)。

【0027】

ϵs_{-H} (as_{-H} , bs_{-H} , gs_{-H}) :

実際の主軸旋回中心 As_{-H} が本来の主軸旋回中心 Cs_{-H} から、X 軸周りに as_{-H} 、Y 軸周りに bs_{-H} 、Z 軸周りに gs_{-H} 回転して傾斜した誤差を表す。

なお、以降も含めて、回転角を表す a, b, g の単位はラジアンである。

(1-3) ずれがある場合の機械位置の求め方

上述した C 軸、A 軸、主軸の 3 つのずれ（直線移動軸成分の乖離距離と回転量）の何れかが 1 つある場合、このずれを考慮して、機械位置を求める必要がある。図 2 はこれらずれを考慮して機械位置を求める説明図であり、図 3 は、ずれのみを表した説明図である。また、図 4～図 6 は、これらずれを考慮して機械位置を求める原理説明図である。

【0028】

図 4 は回転軸 A, C が「0」である状態を示している。破線で示したベクトルは、本来の主軸旋回中心 Cs_{-H} に沿った工具先端から本来の C 軸回転中心 Cc_{-H} と本来の A 軸回転中心 Ca_{-H} の交点 P 1 までの実工具長ベクトル V_1 を表す。主軸の傾斜誤差 ϵs_{-H} (as_{-H} , bs_{-H} , gs_{-H}) によってこのベクトルは V_2 となる。さらに、主軸の直線軸方向の誤差 ds_{-H} (dsx_{-H} , dsy_{-H} , dsz_{-H}) によって、このベクトルは V_3 となる。すなわち、ベクトル V_3 は、回転軸 A, C の回転角が「0」で、主軸のずれによる工具先端から工具長 h の実工具長ベクトルを表すことにな

る。この実工具長ベクトルV3は、実際のA軸回転中心Aa_Hの本来のA回転中心Ca_Hに対するずれとA軸への回転指令aによって、図5に示すV5のベクトルに変わる。すなわち、図4で求めた、実工具長ベクトルV3は、A軸のずれda_{-H}(dax_{-H}, day_{-H}, daz_{-H})、(aa_{-H}, ba_{-H}, ga_{-H})によって、ベクトルV4に変わり、実際のA軸の回転中心はP2となる。そして、A軸への回転指令aだけ工具が回転すると、この回転後の実工具長ベクトルはV5となる。

【0029】

さらに、この実工具長ベクトルV5は、実際のC軸中心Ac_Hの本来のC軸中心Cc_Hに対するずれとC軸への回転指令cによって、図6に示すベクトルV7となる。C軸のずれ、すなわち、実際のA軸回転中心Aa_Hから実際のC軸回転中心Ac_Hへの乖離距離のX, Y, Z軸、各成分dac_{-H}(dacx_{-H}, dacy_{-H}, dacz_{-H})と、これらX, Y, Z軸の軸周り回転ずれ(ac_{-H}, bc_{-H}, gc_{-H})によりC軸の回転中心は、図6の点P3に移動し、実工具長ベクトルV5はベクトルV6に変わる。そして、点P3を中心にC軸回転指令値cだけ回転することにより、実工具長ベクトルはV7となる。そしてこの点P3が、ずれがある場合の機械位置となる。これにより、位置指令P(x, y, z)に対して、ずれ補正と回転軸のA, C軸への位置指令R(a, c)を実行したときの実工具長ベクトルV7を加えれば機械位置が求まることになる(図2参照)。

よって、ずれがある場合の機械位置Vm_{-H'}は次の2式を演算することによって求められる。

【0030】

$$Vm_{-H'} = Mwo_{-H}^* Mp_{-H}^* Mc_{-H'}^* dac_{-H}^* Ma_{-H'}^* da_{-H}^* ds_{-H}^* \epsilon s_{-H}^* Vt_{-H} \\ \dots\dots (2)$$

上記2式において、変換マトリックスMwo_{-H}, Mp_{-H}は前述した通りであり他の要素は、次の通りである。

【0031】

【数2】

$$\epsilon_{S_H} = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma_{S_H} & \beta_{S_H} & 0 \\ \gamma_{S_H} & 1 & -\alpha_{S_H} & 0 \\ -\beta_{S_H} & \alpha_S & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \delta_{S_H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \delta s_{x_H} \\ 0 & 1 & 0 & \delta s_{y_H} \\ 0 & 0 & 1 & \delta s_{z_H} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\delta_{a_H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \delta a_{x_H} \\ 0 & 1 & 0 & \delta a_{y_H} \\ 0 & 0 & 1 & \delta a_{z_H} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \delta_{aC_H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \delta a_{cx_H} \\ 0 & 1 & 0 & \delta a_{cy_H} \\ 0 & 0 & 1 & \delta a_{cz_H} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Ma_H' = \begin{bmatrix} 1 & \gamma a_H * (1 - \cos(a)) + \beta a_H * \sin(a) & -\beta a_H * (1 - \cos(a)) + \gamma a_H * \sin(a) & 0 \\ \gamma a_H * (1 - \cos(a)) - \beta a_H * \sin(a) & \cos(a) & -\sin(a) & 0 \\ -\beta a_H * (1 - \cos(a)) - \gamma a_H * \sin(a) & \sin(a) & \cos(a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mc_H' = \begin{bmatrix} \cos(c) & -\sin(c) & \beta c_H * (1 - \cos(c)) - \alpha c_H * \sin(c) & 0 \\ \sin(c) & \cos(c) & -\alpha c_H * (1 - \cos(c)) - \beta c_H * \sin(c) & 0 \\ \beta c_H * (1 - \cos(c)) + \alpha c_H * \sin(c) & -\alpha c_H * (1 - \cos(c)) + \beta c_H * \sin(c) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0032】

上記2式を説明すると、初期設定されている工具長ベクトル $Vt_H(0, 0, h, 1)^T$ に主軸の X, Y, Z 軸の回転誤差 ϵ_{S_H} の変換マトリックス、及び主軸ずれの X, Y, Z 成分 ds_H をかけて図4に示す実工具長ベクトル $V3$ を求め、さらに、A 軸の X, Y, Z 成分ずれ da_H と X, Y, Z 軸周りの回転ずれ (aa_H , ba_H , ga_H)、及び A 軸への回転指令 a を含む変換マトリックス Ma_H' をかけて図5に示す実工具長ベクトル $V5$ を求める。

【0033】

さらに、実際の A 軸回転中心 Aa_H から実際の C 軸回転中心 Ac_H への乖離距離の X, Y, Z の各成分 dac_H の変換マトリックスと、C 軸の X, Y, Z 軸周りの回転ずれ (ac_H , bc_H , gc_H) と C 軸への回転指令 c を含む変換マトリックス Mc_H' をかけて図6に示す実工具長ベクトル $V7$ を求める。

【0034】

そして図2に示すように、ワーク座標系原点から位置指令値 $P(x, y, z)$ のベクトルを加えるマトリックス Mp_H をかけ、さらに機械原点とワーク原点オフセットベクトルを加えるマトリックス Mwo_H をかけることによって、ずれが

ある機械において、そのずれを補正した指令位置における機械位置 V_{m-H}' が求められる。

2. 本発明の第2の実施形態（テーブル回転形の機械）

本発明の第2の実施形態として、2軸の回転軸でワークを取り付けるテーブルが回転する機械の例を説明する。図7に示すように、直交するX, Y, Z軸の直線移動軸と、テーブル3の回転軸としてA軸（X軸周り）とC軸（Z軸周り）を備え、A軸がマスタ軸となり、A軸上でC軸が動作し、かつ、A軸の回転中心 C_{a-T} と C 軸の回転中心 C_{c-T} は直交するものとする。また、工具方向は Z 軸方向とする。

【0035】

この第2の実施形態の場合は、工具長ベクトル $V_{t-T} (0, 0, h, 1)^T$ 、ワーク原点オフセット量 $W_{O-T} (W_{0x-T}, W_{0y-T}, W_{0z-T}, 1)^T$ 、A軸の回転中心 C_{a-T} と C 軸の回転中心 C_{c-T} の交点ベクトル $C_{o-T} (C_{ox-T}, C_{oy-T}, C_{oz-T}, 1)^T$ が初期条件として与えられているものとする。

（2-1）ずれのない場合の機械位置の求め方

テーブル座標系（ワーク座標系）上の X, Y, Z 座標に対する位置指令値 P (x, y, z)、及び回転軸 A, C に対する位置指令 R (a, c) が与えられているとき、機械位置 $V_{m-T} (X, Y, Z, 1)^T$ は、次の3式によって求められる。

$$V_{m-T} = M_{vt-T} * M_{ad-T} * M_{cd-T} * M_{wo-T} * P_{-T} \quad \dots \quad (3)$$

この3式における要素の各変換マトリックスは次の通りである。

【0036】

【数3】

$$\mathbf{P}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mwo}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \text{WO}_{x,T} \\ 0 & 1 & 0 & \text{WO}_{y,T} \\ 0 & 0 & 1 & \text{WO}_{z,T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mvt}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mcd}_{\cdot T} = \mathbf{Mcp}_{\cdot T}^* \mathbf{Mci}_{\cdot T}^* \mathbf{Mcm}_{\cdot T}$$

$$\mathbf{Mcm}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\text{Cox}_{\cdot T} \\ 0 & 1 & 0 & -\text{Coy}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 1 & -\text{Coz}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mci}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} \cos(-c) & -\sin(-c) & 0 & 0 \\ \sin(-c) & \cos(-c) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mcp}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \text{Cox}_{\cdot T} \\ 0 & 1 & 0 & \text{Coy}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 1 & \text{Coz}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mad}_{\cdot T} = \mathbf{Map}_{\cdot T}^* \mathbf{Mai}_{\cdot T}^* \mathbf{Mam}_{\cdot T}$$

$$\mathbf{Mam}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\text{Cox}_{\cdot T} \\ 0 & 1 & 0 & -\text{Coy}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 1 & -\text{Coz}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mai}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-a) & -\sin(-a) & 0 \\ 0 & \sin(-a) & \cos(-a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Map}_{\cdot T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \text{Cox}_{\cdot T} \\ 0 & 1 & 0 & \text{Coy}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 1 & \text{Coz}_{\cdot T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0037】

すなわち、図7に示すように、テーブル座標系（ワーク座標系）上で指令された位置P (x, y, z) のベクトル $\mathbf{P}_{\cdot T}$ に機械座標原点からテーブル座標系（ワーク座標系）の原点までのワーク原点オフセットベクトルを加算するマトリックス $\mathbf{Mwo}_{\cdot T}$ をかけることによって、回転軸A, Cの回転がないときの指令位置が求まる。これに対して、C軸を指令位置 c だけ回転させる変換マトリックス $\mathbf{Mcd}_{\cdot T}$ をかけることによって、C軸を指令 c だけ回転させたときの指令位置が求まる。さらに、A軸を指令位置 a だけ回転させる変換マトリックス $\mathbf{Mad}_{\cdot T}$ をかけることによって、A軸を指令 a だけ回転させたときの指令位置が求まる。これに、工具

長ベクトルを加算するマトリックス M_{vt-T} をかけることによって、機械位置 V_m_T が求まる。

【0038】

この機械位置を求める 3 式とヘッド回転式における 1 式を比較し、1 式における変換マトリックス M_{c-H} , M_{a-H} と 3 式における変換マトリックス M_{ci-T} , M_{ai-T} は、角度の符号が反転している。これは、指令角度に対してヘッドは指令された方向（回転軸ベクトルのベクトルの根元側からベクトル先端側を見たとき、時計方向がプラス回転）に回転するが、テーブルは逆方向に回転するためである。

（2-2）ずれ（回転中心軸、主軸旋回中心の位置の乖離、及び傾斜）の要素について

この第 2 の実施形態（テーブル回転形）においては、（i）C 軸回転中心のずれ、（ii）A 軸回転中心のずれがあるものとする。そこで、

A_{c-T} : 実際の C 軸回転中心

C_{c-T} : 本来の C 軸回転中心（基準位置）

A_{a-T} : 実際の A 軸回転中心

C_{a-T} : 本来の A 軸回転中心（基準位置）

とすると、

（i）C 軸回転中心のずれ、

実際の C 軸回転中心 A_{c-T} の本来の C 軸回転中心（基準位置） C_{c-T} に対するずれを直線移動軸 X, Y, Z 方向のずれ $d_{c-T}(dcx-T, dcy-T, dcz-T)$ と、該各軸周りの回転ずれ ($ac-T, bc-T, gc-T$) で表す。

【0039】

$dc-T(dcx-T, dcy-T, dcz-T)$:

実際の C 軸回転中心 A_{c-T} から本来の C 軸回転中心 C_{c-T} への乖離距離の X, Y, Z 各成分である。本来の C 軸回転中心 C_{c-T} と本来の A 軸回転中心 C_{a-T} の交点から実際の C 軸回転中心へのベクトルとして表す。

【0040】

$(ac-T, bc-T, gc-T)$:

実際の C 軸回転中心 A_{c-T} が本来の C 軸回転中心 C_{c-T} から、X 軸周りに $ac-T$ 、

Y 軸周りに bc_T 、Z 軸周りに gc_T 回転して傾斜しているずれとして表す。

(ii) A 軸回転中心のずれ

実際の A 軸回転中心 Aa_T の本来の A 軸回転中心（基準位置） Ca_T に対するずれを、次のように表す。

【0041】

da_T (dax_T , day_T , daz_T) :

本来の A 軸回転中心 Ca_T から実際の A 軸回転中心 Aa_T への乖離距離の X, Y, Z 各成分で表す。本来の C 軸回転中心 Cc_T と本来の A 軸回転中心 Ca_T の交点から実際の A 軸回転中心へのベクトルで表す。

(aa_T , ba_T , ga_T) :

実際の A 軸回転中心 Aa_T が本来の A 軸回転中心 Ca_T から、X 軸周りに aa_T 、Y 軸周りに ba_T 、Z 軸周りに ga_T 回転して傾斜いるずれとして表す。

【0042】

なお、この第 2 の実施形態では、工具長ベクトル Vt_T に対するずれはないものとする。

(2-3) ずれがある場合の機械位置の求め方

この第 2 実施形態におけるずれのある機械の機械位置は、上述したずれのない場合の機械位置を求める 3 式に対応する計算式は次の 4 式となる

$$Vm_T' = Mvt_T * Mad_T' * Mcd_T' * Mwo_T * P_T \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

4 式に示す要素の変換マトリックスは次の通りである。

【0043】

【数4】

$$Mcd_{-T}' = Mcp_{-T}' * Mci_{-T}' * McM_{-T}'$$

$$McM_{-T}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Cox_{-T} - \delta cx_{-T} \\ 0 & 1 & 0 & -Coy_{-T} - \delta cy_{-T} \\ 0 & 0 & 1 & -Coz_{-T} - \delta cz_{-T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mcp_{-T}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Cox_{-T} + \delta cx_{-T} \\ 0 & 1 & 0 & Coy_{-T} + \delta cy_{-T} \\ 0 & 0 & 1 & Coz_{-T} + \delta cz_{-T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mci_{-T}' = \begin{bmatrix} \cos(-c) & -\sin(-c) & \beta c_{-T} * (1 - \cos(-c)) - \alpha c_{-T} * \sin(-c) & 0 \\ \sin(-c) & \cos(-c) & -\alpha c_{-T} * (1 - \cos(-c)) - \beta c_{-T} * \sin(-c) & 0 \\ \beta c_{-T} * (1 - \cos(-c)) + \alpha c_{-T} * \sin(-c) & -\alpha c_{-T} * (1 - \cos(-c)) + \beta c_{-T} * \sin(-c) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mad_{-T}' = Map_{-T}' * Mai_{-T}' * Mam_{-T}'$$

$$Mam_{-T}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Cox_{-T} - \delta ax_{-T} \\ 0 & 1 & 0 & -Coy_{-T} - \delta ay_{-T} \\ 0 & 0 & 1 & -Coz_{-T} - \delta az_{-T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Map_{-T}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Cox_{-T} + \delta ax_{-T} \\ 0 & 1 & 0 & Coy_{-T} + \delta ay_{-T} \\ 0 & 0 & 1 & Coz_{-T} + \delta az_{-T} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mai_{-T}' = \begin{bmatrix} 1 & \gamma a_{-T} * (1 - \cos(-a)) + \beta a_{-T} * \sin(-a) & -\beta a_{-T} * (1 - \cos(-a)) + \gamma a_{-T} * \sin(-a) & 0 \\ \gamma a_{-T} * (1 - \cos(-a)) - \beta a_{-T} * \sin(-a) & \cos(-a) & -\sin(-a) & 0 \\ -\beta a_{-T} * (1 - \cos(-a)) - \gamma a_{-T} * \sin(-a) & \sin(-a) & \cos(-a) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0044】

なお、指令位置 $P(x, y, z)$ のベクトル P_{-T} 、及びワーク原点オフセット量 WO_{-T} ($W0x_{-T}, W0y_{-T}, W0z_{-T}, 1$) T の変換マトリックス Mwo_{-T} 、工具長ベクトル Vt_{-T} ($0, 0, h, 1$) T のマトリックス Mvt_{-T} は、前述した通りである。

【0045】

図8に示すように、テーブル座標系上における指令位置 $P(x, y, z)$ のベクトル P_{-T} 、にワーク原点オフセット量 WO_{-T} のベクトルを加算して機械座標系上の指令位置を求める。そして、C軸のずれ dc_{-T} ($dCx_{-T}, dCy_{-T}, dCz_{-T}$)、($ac_{-T}, bc_{-T}, gc_{-T}$) と C軸への指令 c による変換行列 Mcd_{-T}' をかけて C軸のずれを補正し、C軸を指令 c だけ回転させた位置を求める。さらに、A軸のずれ da_{-T} ($dax_{-T}, day_{-T}, daz_{-T}$)、($aa_{-T}, ba_{-T}, ga_{-T}$) と A軸への指令 a による変換行列 Mad_{-T}' をかけて A軸のずれを補正し A軸を指令 a だけ回転させた位置を求める

。そして、工具長ベクトル $V_{t-T} (0, 0, h, 1)^T$ のマトリックス M_{vt-T} をかけて機械位置 V_{m-T}' を求めるものである。

3. 本発明の第3の実施形態（工具ヘッド及びテーブルが回転する機械）

本発明の第3の実施形態として、1軸の回転軸(C軸)でテーブル3を回転させ、他の1軸の回転軸(B軸)で工具ヘッド1を回転させる機械とし、C軸はZ軸周り、B軸はY軸周りの回転とする。また、回転軸位置がともに0(B, C = 0)の場合の工具方向はZ方向とする。

【0046】

この第3の実施形態においては、次のデータが初期条件として与えられている。

- ・工具長ベクトル $V_{t-M} (0, 0, h, 1)^T$
- ・ワーク原点オフセット量 W_{0-M} ($W_{0x-M}, W_{0y-M}, W_{0z-M}, 1$)^T
- ・C軸の回転中心 C_{c-M} ($C_{cx-M}, C_{cy-M}, C_{cz-M}, 1$)^T

(3-1) ずれがない場合の機械位置の求め方

この第3の実施形態においては、X, Y, Zに対するテーブル座標系上の位置指令値 $P(x, y, z)$ 、および回転軸B, C軸に対する位置指令値 $R(b, c)$ が与えられたとき、次の演算を行って工具長補正をした機械位置 $V_{m-M}(x, y, z, 1)^T$ を求める。

【0047】

$$V_{p-M} = M_{cd-M} * M_{wo-M} * P_{-M} \quad \dots \quad (5)$$

$$V_{v-M} = M_{b-M} * V_{t-M} \quad \dots \quad (6)$$

とすると、

$$V_{m-M} = V_{p-M} + V_{v-M} \quad \dots \quad (7)$$

上記5～7式における各要素は以下の通りである。

【0048】

【数5】

$$\mathbf{P}_{-M} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mwo}_{-M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & WOx_{-M} \\ 0 & 1 & 0 & WOy_{-M} \\ 0 & 0 & 1 & WOz_{-M} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mcd}_{-M} = \mathbf{Mcp}_{-M} * \mathbf{Mci}_{-M} * \mathbf{McM}_{-M}$$

$$\mathbf{McM}_{-M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Ccx_{-M} \\ 0 & 1 & 0 & -Ccy_{-M} \\ 0 & 0 & 1 & -Ccz_{-M} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mci}_{-M} = \begin{bmatrix} \cos(-c) & -\sin(-c) & 0 & 0 \\ \sin(-c) & \cos(-c) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mcp}_{-M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Ccx_{-M} \\ 0 & 1 & 0 & Ccy_{-M} \\ 0 & 0 & 1 & Ccz_{-M} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{Mb}_{-M} = \begin{bmatrix} \cos(b) & 0 & \sin(b) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(b) & 0 & \cos(b) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0049】

すなわち、図9に示すように、テーブル座標系上の位置指令値 $\mathbf{P}(x, y, z)$ を示すベクトル \mathbf{P}_{-M} にワーク原点オフセット量 WO_{-M} ($WOx_{-M}, WOy_{-M}, WOz_{-M}, 1$)^T のベクトル \mathbf{Mwo}_{-M} を加算し、さらに、C軸回転指令 c の回転変換マトリックス \mathbf{Mcd}_{-M} をかけて、C軸を指令 c だけ回転させた後の指令位置 Vp_{-M} を求める（5式）。

また、工具長ベクトル Vt_{-M} にB軸を指令 b だけ回転させる回転変換マトリックス \mathbf{Mb}_{-M} をかけてB軸を b だけ回転させた工具長ベクトル Vv_{-M} を求める（6式）。

【0050】

そして、上記7式に示すように、C軸を指令 c だけ回転させた後の指令位置 Vp_{-M} にB軸を b だけ回転させた工具長ベクトル Vv_{-M} を加算することによって、機械位置 Vm_{-M} が求まる。

(3-2) ずれ（回転中心軸、主軸旋回中心の位置の乖離、及び傾斜）の要素

について

この第3の実施形態（工具ヘッド及びテーブル回転形）において発生するずれを、 (i) C軸回転中心のずれ、 (ii) B軸回転中心のずれとする。そこで、

Ac_M : 実際のC軸回転中心

Cc_M : 本来のC軸回転中心（基準位置）

Ab_M : 実際のB軸回転中心

Cb_M : 本来のB軸回転中心（基準位置）

とすると、

(i) C軸回転中心のずれ、

実際のC軸回転中心 Ac_M の本来のC軸回転中心（基準位置） Cc_M に対するずれを直線移動軸X, Y, Z方向のずれ dc_M (dcx_M , dcy_M , dcz_M)と、該各軸周りの回転ずれ(ac_M , bc_M , gc_M)で表す。

【0051】

dc_M (dcx_M , dcy_M , dcz_M) :

実際のC軸回転中心 Ac_M から本来のC軸回転中心 Cc_M への乖離距離のX, Y, Z各成分である。

【0052】

(ac_M , bc_M , gc_M) :

実際のC軸回転中心 Ac_M が本来のC軸回転中心 Cc_M から、X軸周りに ac_M 、Y軸周りに bc_M 、Z軸周りに gc_M 回転して傾斜しているずれを表す。

(ii) B軸回転中心のずれ

実際のB軸回転中心 Ab_M の本来のB軸回転中心（基準位置） Cb_M に対するずれを、次のように表す。

db_M (dbx_M , dy_M , dbz_M) :

本来のB軸回転中心 Cb_M から実際のB軸回転中心 Ab_M への乖離距離のX, Y, Z各成分で表す。

【0053】

(ab_M , bb_M , gb_M) :

実際のB軸回転中心 Ab_M が本来のB軸回転中心 Cb_M から、X軸周りに ab_M 、

Y 軸周りに bb_M 、Z 軸周りに $g b_M$ 回転して傾斜していることを表す。

また、工具長ベクトル Vt_M に対するずれはないものとする。

(3-3) ずれがある場合の機械位置の求め方

この第3実施形態におけるずれのある機械の機械位置は、上述したずれのない場合の機械位置を求める 5～7 式に対応する計算式は次の 8～10 式となる。

【0054】

$$Vp_M' = Mcd_M' * Mwo_M * P_M \quad \dots \quad (8)$$

$$Vv_M' = Mb_M' * db_M * Vt_M \quad \dots \quad (9)$$

$$Vm_M' = Vp_M' + Vv_M' \quad \dots \quad (10)$$

上記 8～10 式における各要素は以下の通りである。

【0055】

【数6】

$$Mc_{d,M}' = Mc_{p,M}' * Mc_{i,M}' * Mc_{m,M}'$$

$$Mc_{m,M}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -Ccx_M - \delta cx_M \\ 0 & 1 & 0 & -Ccy_M - \delta cy_M \\ 0 & 0 & 1 & -Ccz_M - \delta cz_M \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mc_{p,M}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Ccx_M + \delta cx_M \\ 0 & 1 & 0 & Ccy_M + \delta cy_M \\ 0 & 0 & 1 & Ccz_M + \delta cz_M \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mc_{i,M}' = \begin{bmatrix} \cos(-c) & -\sin(-c) & \beta c_M * (1-\cos(-c)) - \alpha c_M * \sin(-c) & 0 \\ \sin(-c) & \cos(-c) & -\alpha c_M * (1-\cos(-c)) - \beta c_M * \sin(-c) & 0 \\ \beta c_M * (1-\cos(-c)) + \alpha c_M * \sin(-c) & -\alpha c_M * (1-\cos(-c)) + \beta c_M * \sin(-c) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\delta b_M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \delta bx_M \\ 0 & 1 & 0 & \delta by_M \\ 0 & 0 & 1 & \delta bz_M \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Mb_M' = \begin{bmatrix} \cos(b) & -\gamma b_M * (1-\cos(b)) - \alpha b_M * \sin(b) & \sin(b) & 0 \\ -\gamma b_M * (1-\cos(b)) + \alpha b_M * \sin(b) & 1 & \alpha b_M * (1-\cos(b)) + \gamma b_M * \sin(b) & 0 \\ -\sin(b) & \alpha b_M * (1-\cos(b)) - \gamma b_M * \sin(b) & \cos(b) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0056】

すなわち、図 10 に示すように、テーブル座標系上の位置指令値 $P(x, y,$

z)を示すベクトル P_{-M} にワーク原点オフセット量 $W0_{-M}$ ($W0x_{-M}, W0y_{-M}, W0z_{-M}, 1$) T のベクトルを加算するマトリックス Mwo_{-M} をかけて機械座標系上の指令位置を求める。そして、C 軸のずれ dc_{-M} ($dcx_{-M}, dcy_{-M}, dcz_{-M}$)、($ac_{-M}, bc_{-M}, gc_{-M}$) と C 軸への指令 c による変換マトリックス Mcd_{-M}' をかけて C 軸のずれを補正し、C 軸を指令 c だけ回転させた位置 Vp_{-M}' を求める（8式）。

【0057】

また、工具長ベクトル Vt_{-M} に B 軸の X, Y, Z 成分のずれのベクトルを加算するマトリックス db_{-M} をかけ、さらに、B 軸の回転ずれを補正し、B 軸を指令 b だけ回転させる変換マトリックス Mb_{-M}' をかけて B 軸の回転ずれを補正し、B 軸を指令 b だけ回転させた工具長ベクトル Vv_{-M}' を求める（9式）。

【0058】

そして、上記 10 式に示すように、C 軸を指令 c だけ回転させた後の指令位置 Vp_{-M}' に B 軸を b だけ回転させた工具長ベクトル Vv_{-M}' を加算することによって、機械位置 Vm_{-M}' が求まる。

(4) その他の機械の場合、

主軸旋回中心が基準位置からずれている場合については、工具ヘッド回転形の機械の場合にのみ説明したが、同様にテーブル回転形機械、および、工具ヘッドおよびテーブルが回転する機械に対しても適用することができるものである。

【0059】

さらに、工具ヘッド回転形の機械の場合において主軸旋回中心が基準位置からずれている場合について述べたが、機構上主軸旋回中心が主軸の乗った回転軸の回転中心になく、図 11 に示すように、主軸旋回中心 Cs_{-H} が A 軸回転中心 Ca_{-H} と交差しない場合や、図 12 に示すように、テーブルが回転する機械において、C 軸回転中心 Cc_{-T} と A 軸回転中心 Ca_{-T} が交差しない場合も、本発明は適用できるものである。

【0060】

さらに、工具ヘッド回転形の機械の場合、および、テーブル回転形機械の場合において、回転軸間は直交しているとしたが、直交していない場合にも適用できる。

又、回転軸の構成について、上述した各実施形態では、工具ヘッド回転形の機械の場合はC、A軸、テーブル回転形機械の場合はA、C軸、および、工具ヘッドおよびテーブルが回転する機械の場合はC、B軸、としたが、他の軸構成の機械の場合にも適用できるものであり、又、当然、1つの回転軸しか備えないものにも適用できるものである。

さらに、回転軸位置=0の時、工具方向はZ軸方向としたが、他の軸方向の場合にも当然適用できるものである。

【0061】

図13は上述したずれを補正して機械位置を求める各実施形態の方法を実施する数値制御装置のブロック図である。

CPU11は数値制御装置100を全体的に制御するプロセッサである。CPU11は、ROM12に格納されたシステムプログラムを、バス20を介して読み出し、該システムプログラムに従って数値制御装置全体を制御する。RAM13には一時的な計算データや表示データ及び表示器／MDIユニット70を介してオペレータが入力した各種データが格納される。CMOSメモリ14は図示しないバッテリでバックアップされ、数値制御装置100の電源がオフされても記憶状態が保持される不揮発性メモリとして構成される。CMOSメモリ14中には、インターフェイス15を介して読み込まれた加工プログラムや表示器／MDIユニット70を介して入力された加工プログラム等が記憶される。また、ROM12には、本発明のずれ補正を実施するための上述した1～10式の演算処理を行うソフトウェアも格納されている。

【0062】

インターフェイス15は、数値制御装置100とアダプタ等の外部機器72との接続を可能とするものである。外部機器71側からは加工プログラム等が読み込まれる。また、数値制御装置100内で編集した加工プログラムは、外部機器72を介して外部記憶手段に記憶させることができる。PMC（プログラマブル・マシン・コントローラ）16は、内蔵されたシーケンスプログラムで工作機械の補助装置（例えば、工具交換用のロボットハンドといったアクチュエータ）にI/Oユニット17を介して信号を出力し制御する。なお、PMCは機械側に設

けられる場合がある。工作機械の本体に配備された操作盤の各種スイッチ等の信号を受け、必要な信号処理をした後、C P U 1 1 に渡す。

【0063】

表示器／M D I ユニット70はディスプレイやキーボード等を備えた手動データ入力装置であり、インターフェイス18はC R T／M D I ユニット70のキーボードからの指令、データを受けてC P U 1 1 に渡す。

【0064】

各軸の軸制御回路30～33はC P U 1 1 からの各軸の移動指令量を受けて、各軸の指令をサーボアンプ40～43に出力する。サーボアンプ40～43はこの指令を受けて、各軸（直線移動軸のX、Y、Z軸及び回転軸）のサーボモータ50～53を駆動する。各軸のサーボモータ50～53は位置・速度検出器を内蔵し、この位置・速度検出器からの位置・速度フィードバック信号を軸制御回路30～33にフィードバックし、位置・速度のフィードバック制御を行う。なお、図13では、位置・速度のフィードバックについては省略している。

【0065】

また、スピンドル制御回路60は主軸旋回指令を受け、スピンドルアンプ61にスピンドル速度信号を出力する。スピンドルアンプ61はスピンドル速度信号を受けて、主軸モータ62を指令された回転速度で回転させる。ポジションコーダ63は、主軸モータ62の回転に同期して帰還パルスをスピンドル制御回路60にフィードバックし、速度制御を行う。

【0066】

上述した数値制御装置の構成は従来の数値制御装置の構成と差異はない。但し、前述したように、機械のずれを補正して指令位置を出力するソフトウェアが記憶手段内に格納され、回転軸中心の本来の位置からの乖離と傾斜のずれ、主軸旋回中心の本来の位置からの乖離と傾斜で表されるずれを補正して、移動指令を機械に出力する従来の数値制御装置にない機能が加わっているものである。

【0067】

まず、機械に数値制御装置100を取り付ける際に、その機械のタイプに応じて、前述したずれを数値制御装置に設定登録する。すなわち、機械が工具ヘッド

回転形の機械で回転軸を A, C 軸を備えている第 1 の実施形態として説明した場合においては、C 軸のずれ、dac_H (dacx_H, dacy_H, dacz_H)、(ac_H, bc_H, gc_H)、A 軸のずれda_H (dax_H, day_H, daz_H)、(aa_H, ba_H, ga_H)、主軸のずれds_H (dsx_H, dsy_H, dsz_H)、ε s_H (as_H, bs_H, gs_H) を設定する。

【0068】

又、テーブルが回転する第 2 の実施形態として説明した機械の場合には、C 軸のずれdc_T (dcx_T, dcy_T, dcz_T)、(ac_T, bc_T, gc_T)、A 軸のずれda_T (dax_T, day_T, daz_T)、(aa_T, ba_T, ga_T) を設定する。又、第 3 の実施形態として説明した機械の場合には、C 軸のずれdc_M (dcx_M, dcy_M, dcz_M)、(ac_M, bc_M, gc_M)、B 軸のずれdb_M (dbx_M, dby_M, dbz_M)、(ab_M, bb_M, gb_M) を設定する。

【0069】

これらずれ量を設定する方法としては、数値制御装置 100 内の CMOS メモリ 14 等に設けられたパラメータに設定する。又は、機械に予めこれらの誤差量を記憶しておき、機械を数値制御装置 100 に接続したとき、機械側に設けられた PLC (プログラマブル・ロジック・コントローラ) からこのずれ量を送信し、この送り込まれてきたずれ量を設定するようにする。さらには、外部コンピュータからインターフェイス 15 等を介して、ずれ量を通信で受信しこれを設定するようとする。

【0070】

そして、数値制御装置 100 には、接続した機械のタイプ、すなわち、工具ヘッド回転形の機械か、テーブル回転形の機械か、工具ヘッド及びテーブルが回転する機械か等の機械のタイプを設定しておく。なお、工具長、ワーク原点（ワーク原点オフセット）、さらには、テーブル回転形の機械の場合には、A 軸の回転中心と C 軸の回転中心の交点が設定、工具ヘッド及びテーブルが回転する機械の場合には、C 軸回転中心位置が設定されているものとする。

【0071】

図 14 は、数値制御装置 100 が実行する工具長補正の処理のフローチャートである。

まず、CPU11は、ずれ量が設定されているか否か判別し（ステップ1）、ずれ量が設定されていなければ、設定されている機械の構成（タイプ）を判別し（ステップ2）、工具ヘッド回転形の機械であれば前述した1式の演算処理を選択し（ステップ3）、以後プログラムで指令される位置指令に対して1式の演算を行って工具長補正処理がなされる。

【0072】

又、テーブル回転形の機械であれば3式の演算処理を選択し（ステップ4）、工具ヘッド及びテーブルが回転する機械であれば5～7式の演算処理を選択し（ステップ5）、以後プログラムで指令される位置指令に対して選択された演算処理を行って工具長補正処理がなされる。

【0073】

又、ずれ量が設定されている場合には、機械の構成（タイプ）を判別し（ステップ6）、工具ヘッド回転形の機械であれば前述した2式の演算処理を選択し（ステップ7）、テーブル回転形の機械であれば4式の演算処理を選択し（ステップ8）、工具ヘッド及びテーブルが回転する機械であれば8～10式の演算処理を選択し（ステップ9）、以後プログラムで指令される位置指令に対して選択された演算処理を行って工具長補正処理がなされる。

なお、この工具長補正の計算はブロック毎に行うことも可能であるが、補間周期で行うことや、数値制御装置内における他のタイミングで行うこと也可能である。

【0074】

【発明の効果】

本発明は、回転軸や主軸旋回軸にずれがあっても、そのずれを補正して機械位置が指令されることになるから、加工精度の高い制御を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

A軸、C軸の回転軸を有する機械において、ずれのない場合での機械位置の算出を説明する説明図である。

【図2】

同機械においてずれを有するときの機械位置算出の説明図である。

【図 3】

同機械においてずれ部分の拡大説明図である。

【図 4】

同機械において、主軸旋回中心のずれによる工具長ベクトルの変化の説明図である。

【図 5】

同機械において、A 軸回転中心のずれと A 軸への指令による工具長ベクトルの変化の説明図である。

【図 6】

同機械において、C 軸回転中心のずれと C 軸への指令による工具長ベクトルの変化の説明図である。

【図 7】

テーブルに回転軸 A, C 軸を有する機械において、ずれがない場合の機械位置の求め方の説明図である。

【図 8】

テーブルに回転軸 A, C 軸を有する機械において、ずれがある場合の機械位置の求め方の説明図である。

【図 9】

工具ヘッドとテーブルに回転軸を有する機械において、ずれがない場合の機械位置の求め方の説明図である。

【図 10】

工具ヘッドとテーブルに回転軸を有する機械において、ずれがある場合の機械位置の求め方の説明図である。

【図 11】

本発明が適用可能な主軸旋回中心が A 軸回転中心と交差しない機械の説明図である。

【図 12】

本発明が適用可能なテーブルが回転する機械において、C 軸回転中心と A 軸回

転中心が交差しない機械の説明図である。

【図 1 3】

各機械のずれを補正して工具長補正を行う数値制御装置の一実施形態の要部ブロック図である。

【図 1 4】

同数値制御装置の一実施形態が実行する工具長補正の処理フローチャートである。

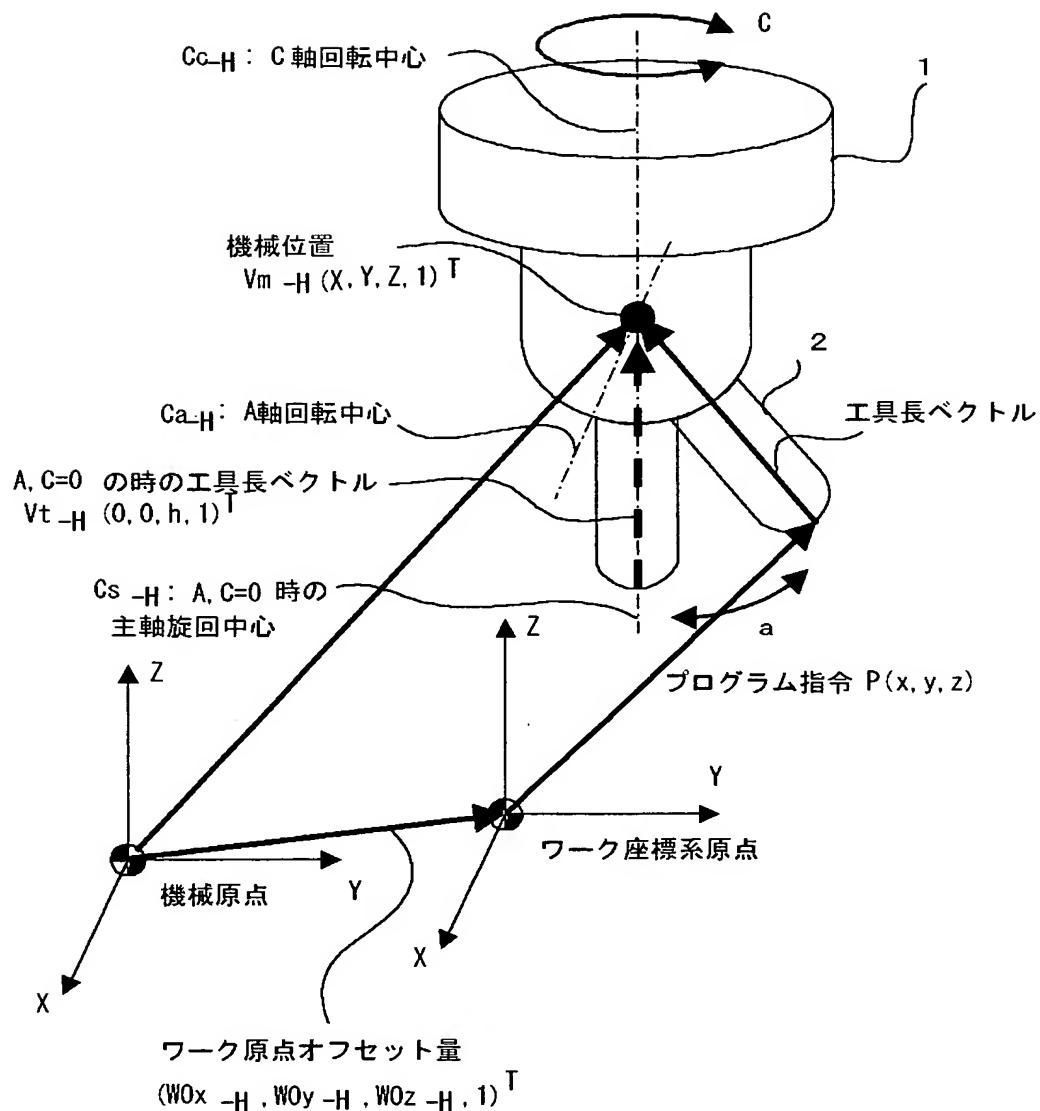
【符号の説明】

- 1 工具ヘッド
- 2 工具
- 3 テーブル

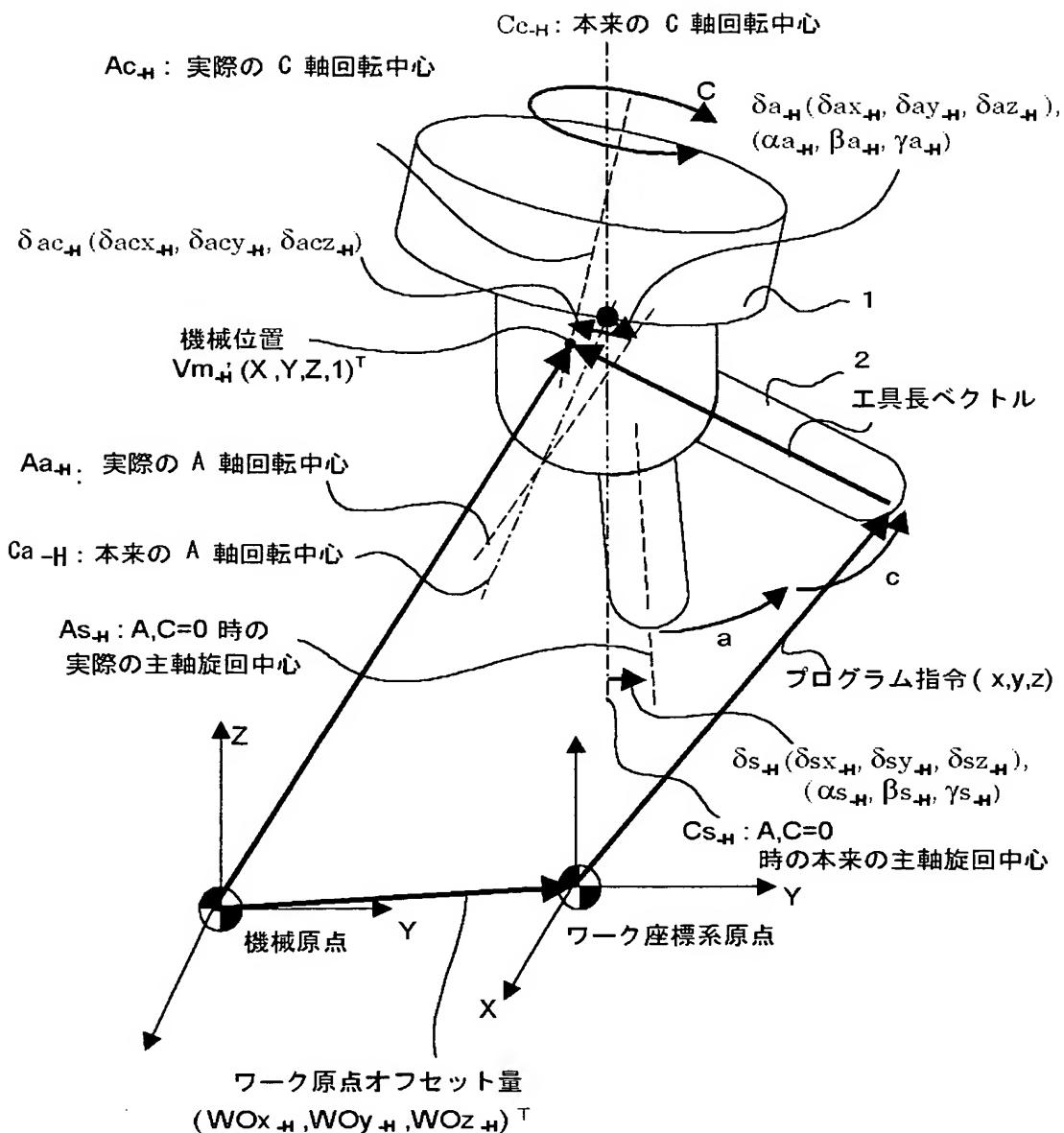
【書類名】

図面

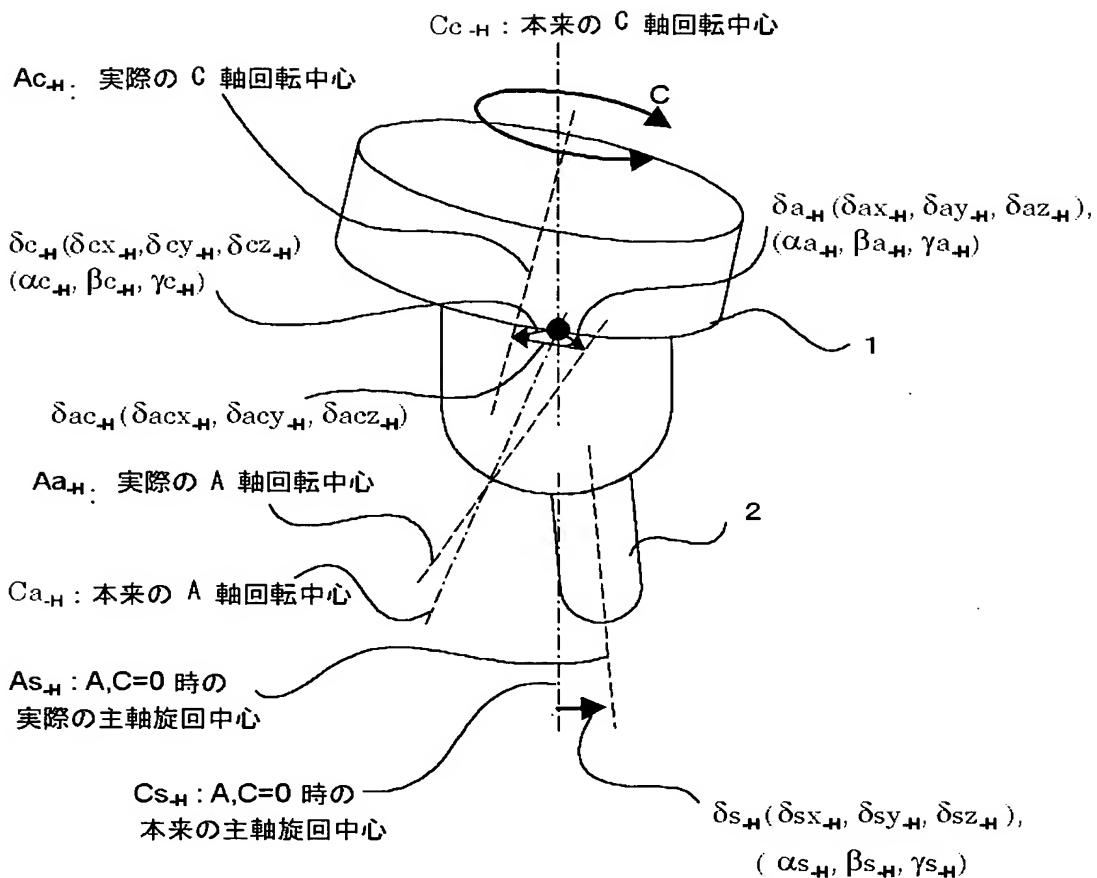
【図 1】



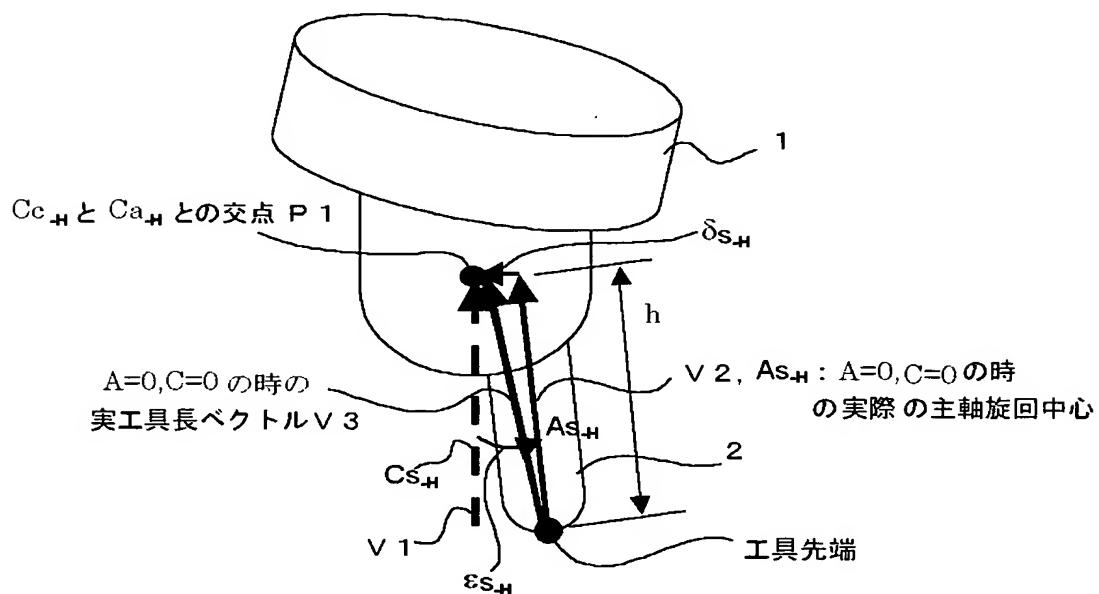
〔圖2〕



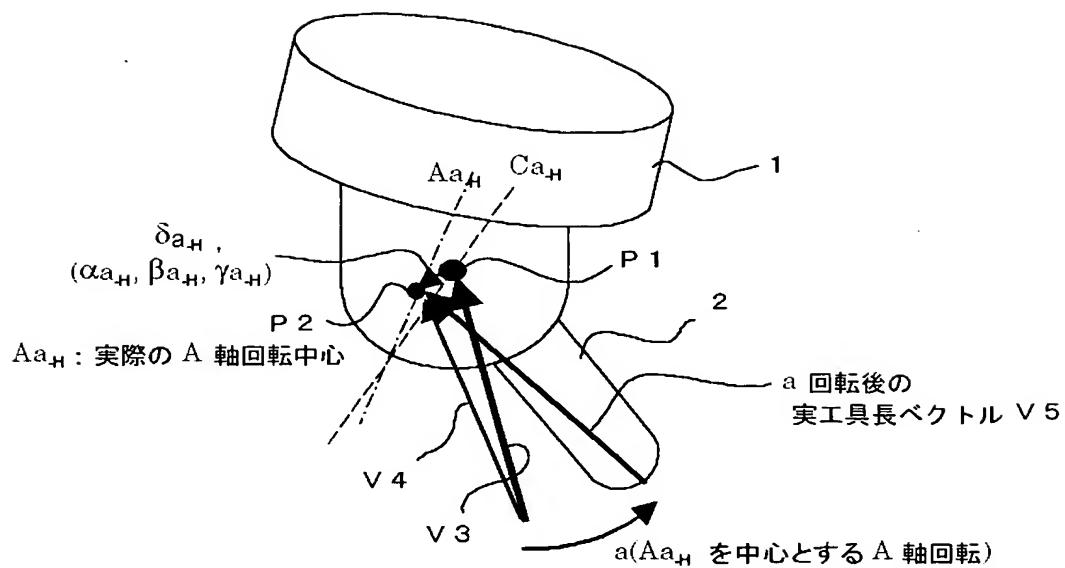
【図3】



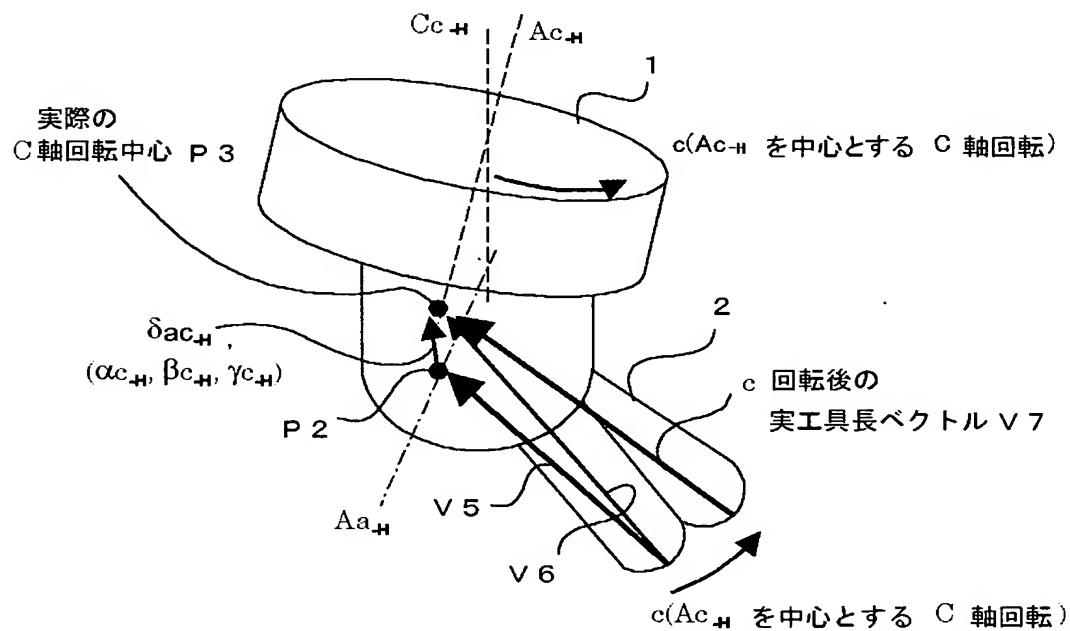
【図4】



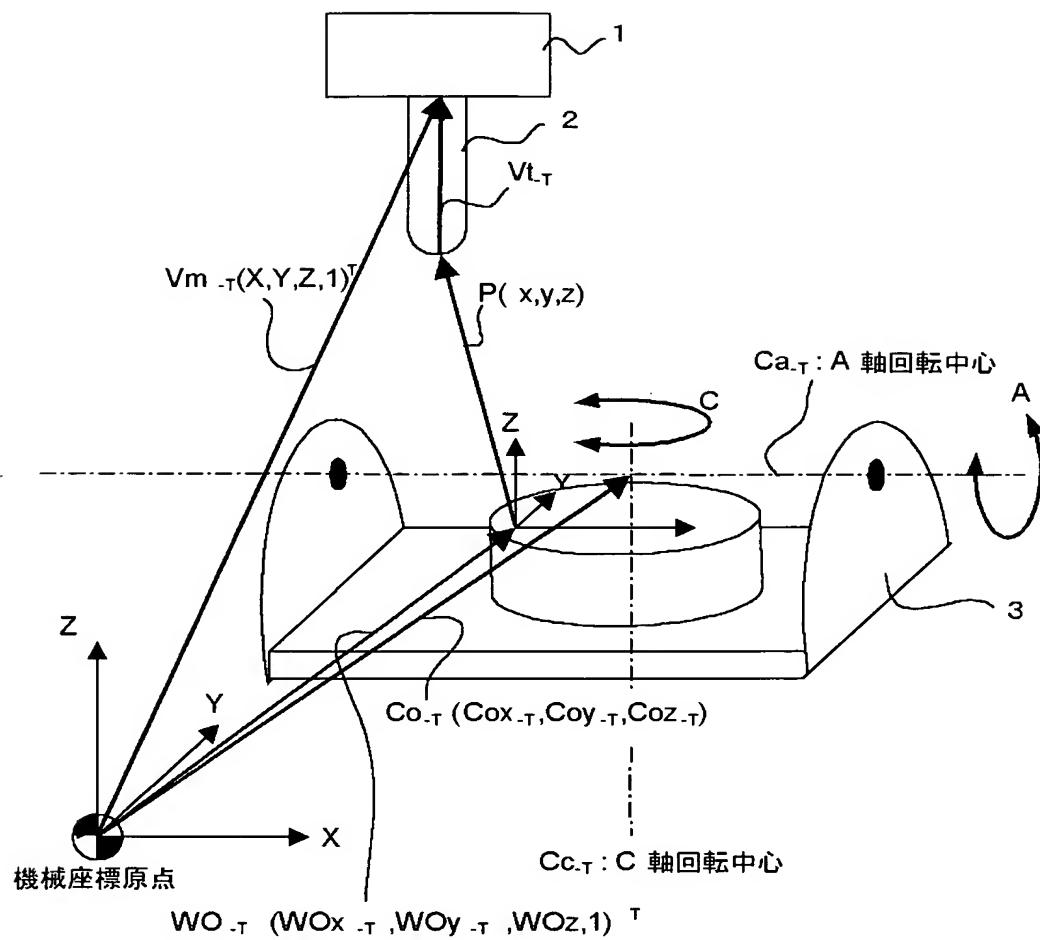
【図 5】



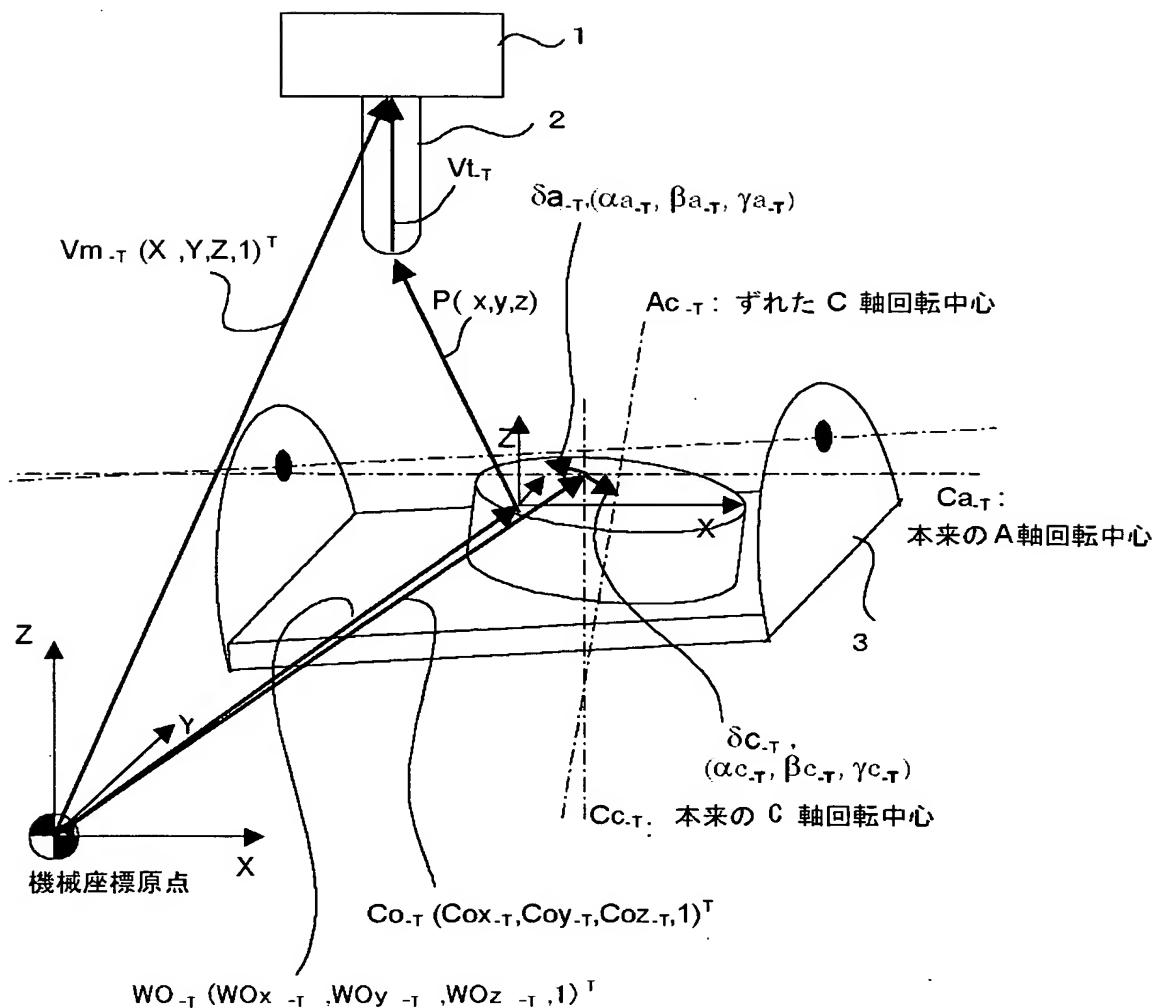
【図 6】



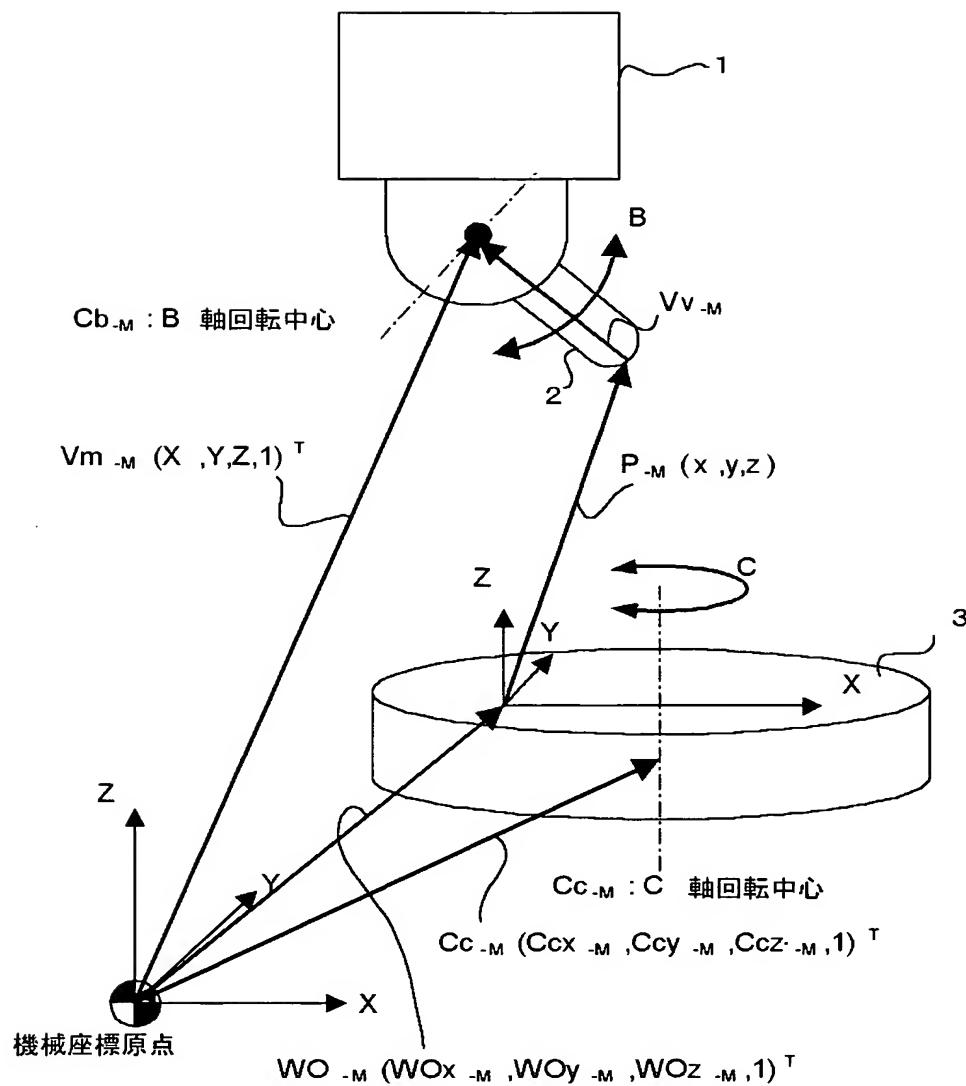
【図 7】



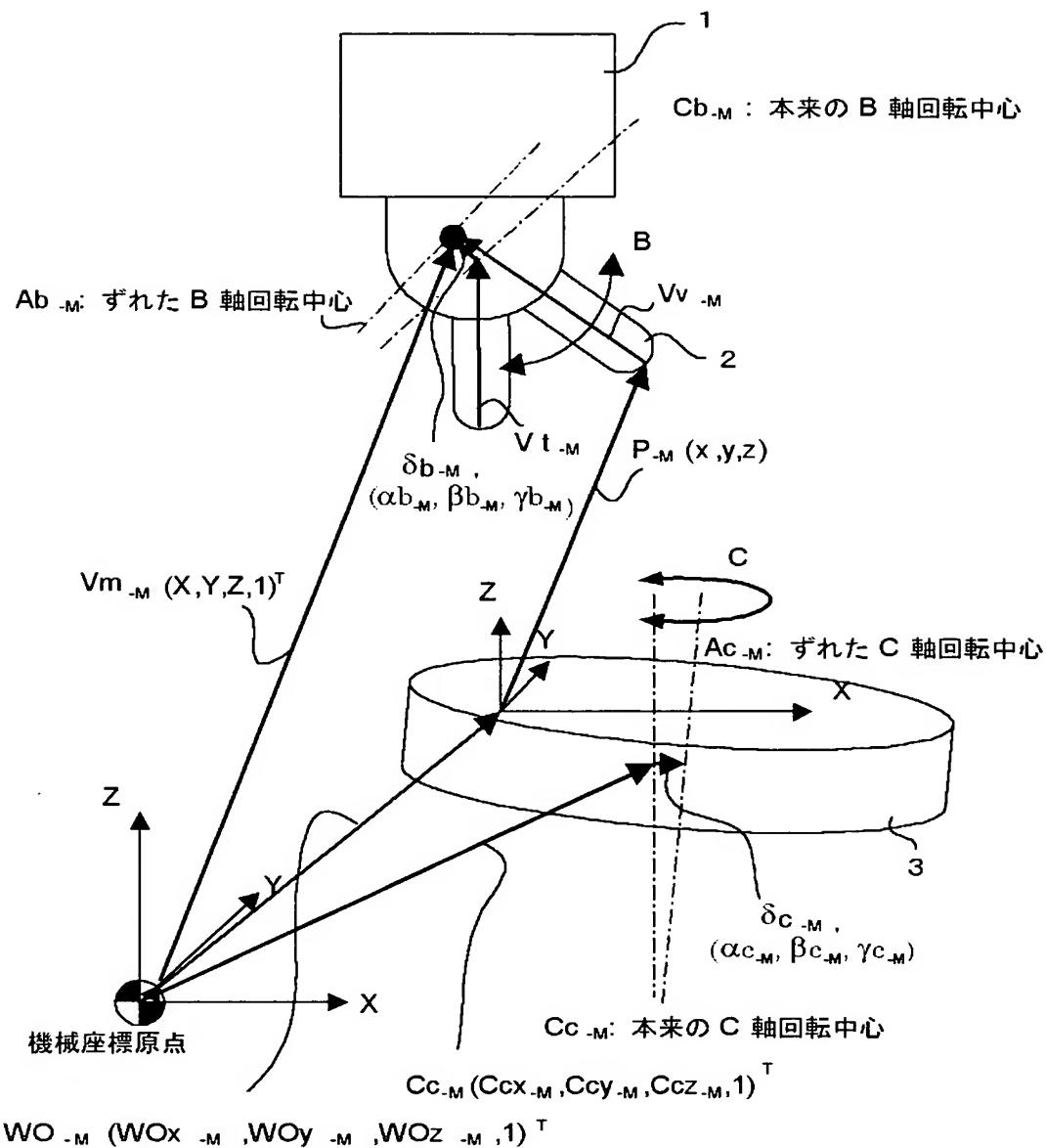
【図8】



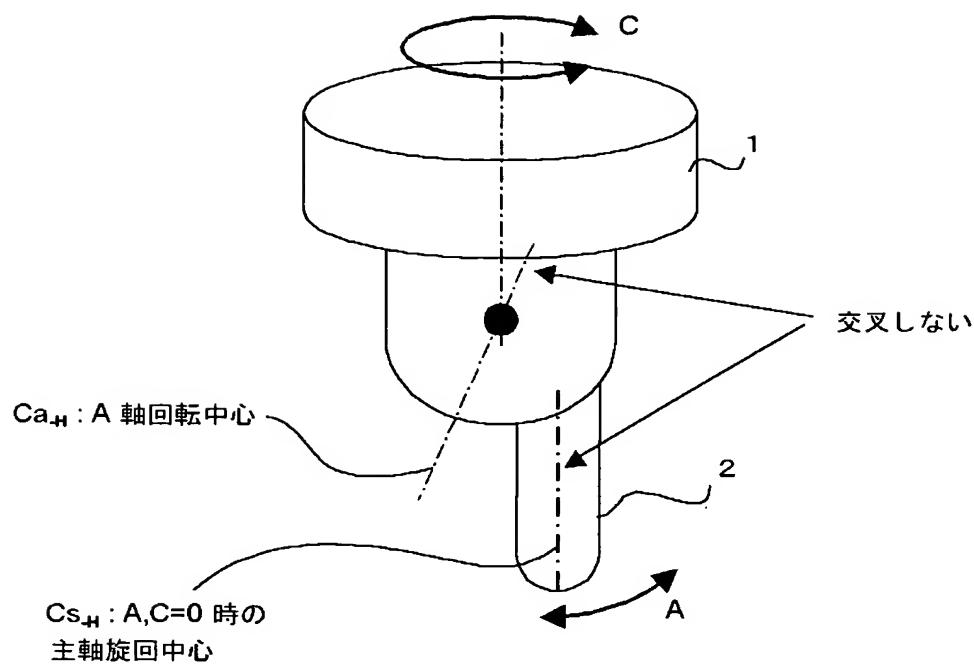
【図 9】



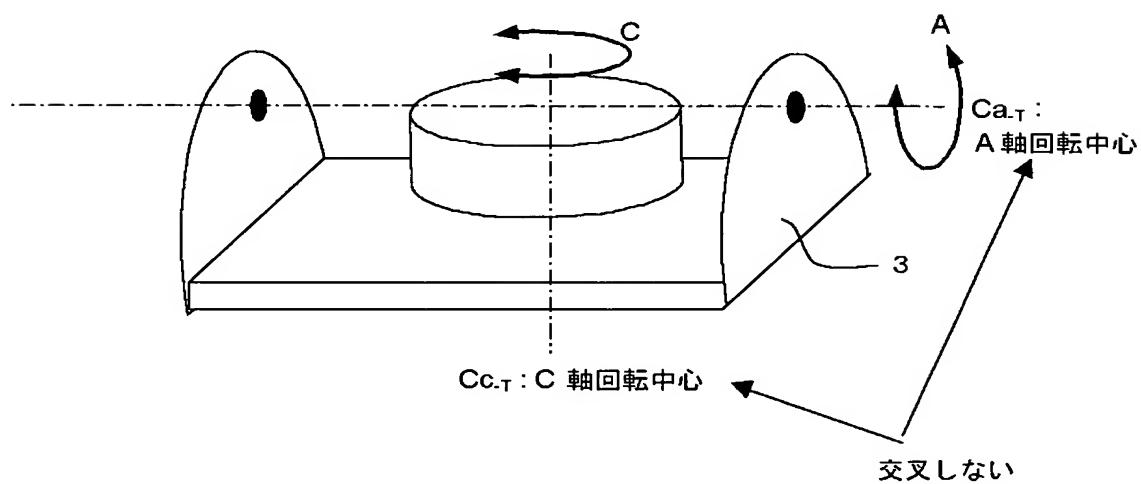
【図10】



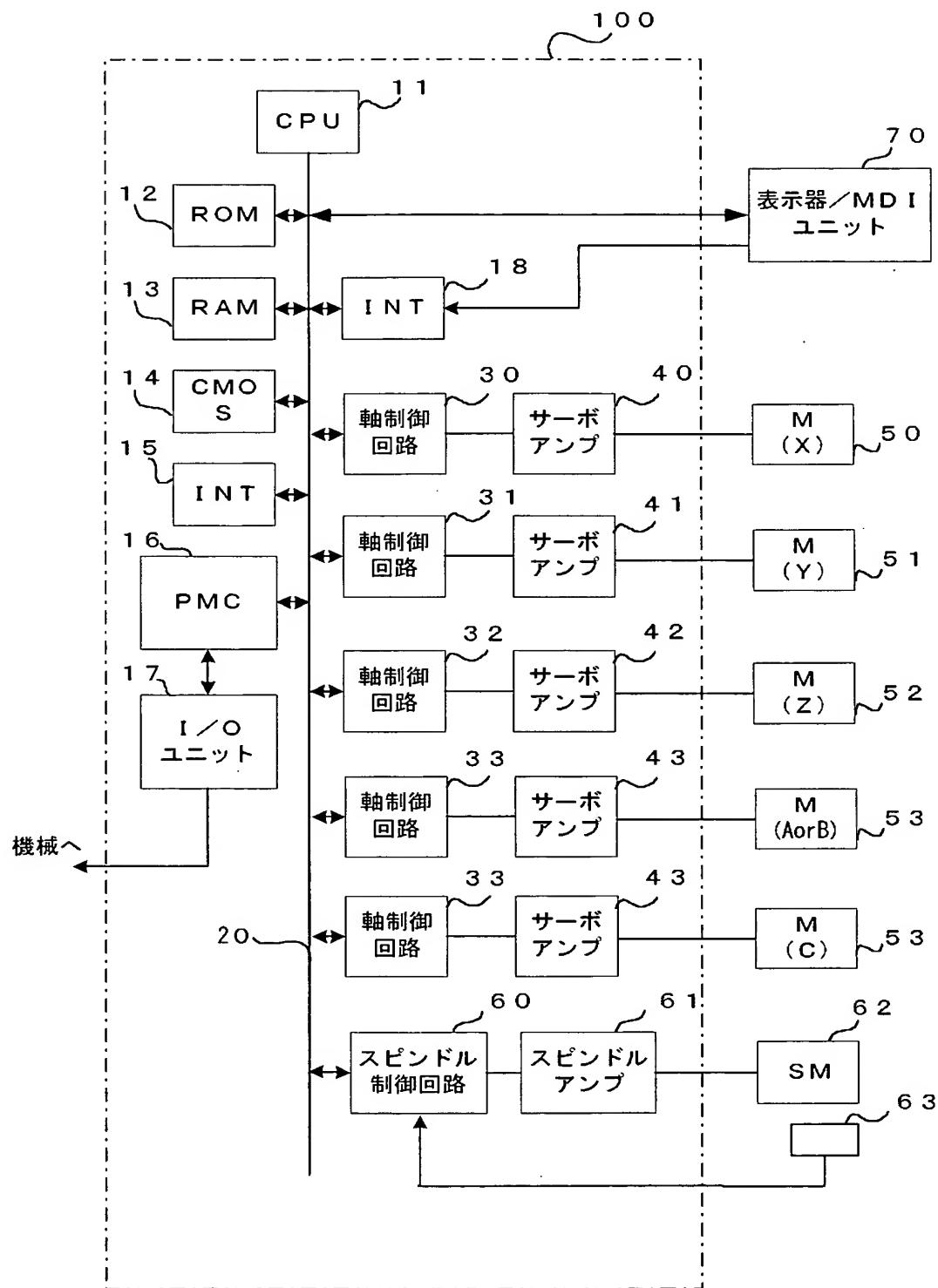
【図 1 1】



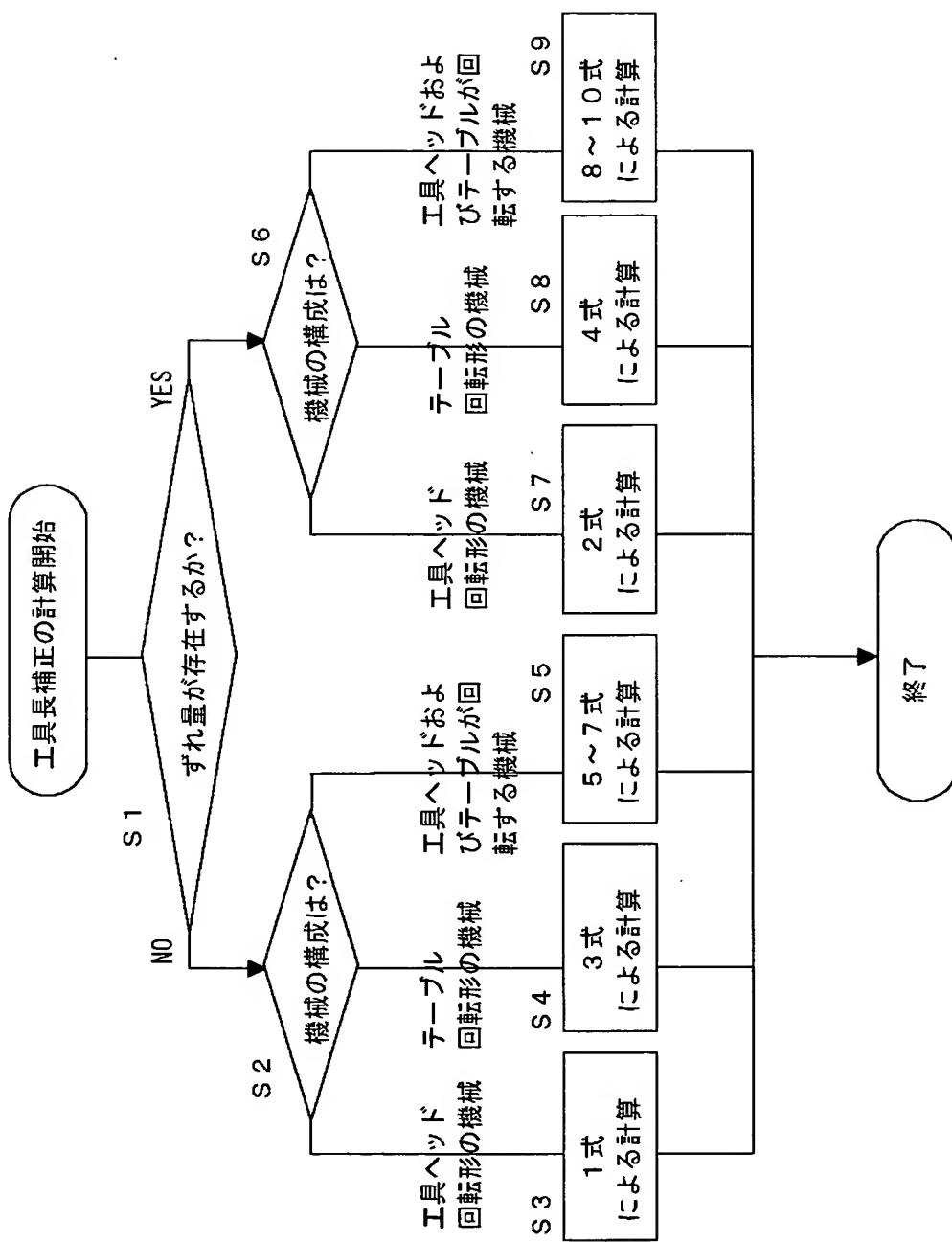
【図 1 2】



【図13】



【図 1-4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 回転軸中心や主軸旋回中心が本来の位置からずれても、そのずれを補正して精度の高い加工ができる数値制御装置及び制御方法を得る。

【解決手段】 工具ヘッド1がC軸(Z軸周り)、A軸(X軸周り)によって回転する機械である。工具長ベクトルに主軸の傾斜誤差(as_H, bs_H, gs_H)及びずれ成分ds_Hを補正するマトリックスをかけ、主軸のずれによる工具長ベクトルを求める。さらに、A軸のずれda_H, (aa_H, ba_H, ga_H)とA軸への回転指令aを含む変換マトリックスをかけてA軸のずれを補正し、指令aだけ回転したときの工具長ベクトルを求める。さらに、C軸のずれdac_H, (ac_H, bc_H, gc_H)とC軸への回転指令cを含む変換マトリックスをかけてC軸のずれを補正し、指令cだけ回転したときの工具長ベクトルを求める。これに位置指令値(x, y, z)のベクトル、ワーク原点オフセットベクトルMwo_Hを加えて機械位置Vm_{H'}を求める。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2003-041249
受付番号	50300264476
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成15年 2月20日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 2月19日
-------	-------------

次頁無

特願 2003-041249

出願人履歴情報

識別番号 [390008235]

1. 変更年月日 1990年10月24日

[変更理由] 新規登録

住所 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地
氏名 ファナック株式会社